

09/380410

**PRIORITY DOCUMENT**



REC'D 20 MAY 1998  
WIPO PCT

## Bescheinigung

Herr Frank J e n a u in Cottbus/Deutschland hat eine  
Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Verfahren und Einrichtung zur Messung einer  
elektrischen Spannung"

am 5. März 1997 beim Deutschen Patentamt eingereicht.

Die Anmelderangaben wurden berichtigt in:

Herren Frank J e n a u und Professor Dr.-Ing.  
Harald S c h w a r z , beide in Cottbus/Deutschland.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wieder-  
gabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patentamt vorläufig das Symbol  
G 01 R 15/24 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 27. März 1998

Der Präsident des Deutschen Patentamts

Im Auftrag

Ebert

Patenzzeichen: 197 16 477.3

## **Verfahren und Einrichtung zur Messung einer elektrischen Spannung**

Gegenstand der Erfindung sind ein Verfahren und eine Einrichtung zur optischen Messung einer elektrischen Spannung, vorzugsweise einer Hochspannung.

Konventionelle Spannungswandler, die zur Messung von Hochspannungen in energietechnischen Anlagen eingesetzt werden, basieren auf einem induktiven Meßprinzip, gegebenenfalls werden zusätzlich kapazitive Spannungsteiler verwendet. Bei herkömmlichen Wandlern steigt der Isolationsaufwand überproportional mit der Übertragungsspannung der Energieversorgungsnetze (siehe A. J. Schwab, „Hochspannungsmeßtechnik“). Im Zuge zunehmender Digitalisierung der den Wandlern nachgeordneten Meßtechnik, die im allgemeinen niedrigere Störschwellen aufweist als herkömmliche analoge Meßtechnik, gewinnt die Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) an Bedeutung. Aufgrund der induktiv / kapazitiven Kopplung von Primärebene (Netzseite) zu Sekundärebene (Meß- und Steuerungsseite) bei herkömmlichen Spannungswandlern gestaltet sich deren Einsatz in Verbindung mit digitaler Netztechnik unter EMV-Gesichtspunkten problematisch (siehe H. Hirsch, „Polarimetrische faseroptische Stromwandler“). Im Vergleich zu herkömmlichen Wandlern ist der Rohstoffeinsatz aufgrund der kleinen Größe von optischen Baugruppen gering. Optische Wandler benötigen zur Isolierung prinzipiell kein Öl, so daß die Gefahr einer Ölverseuchung angrenzender Erdmassen im Fall einer Wandlerexplosion bei netz- oder geräteseitigen Fehlern nicht existiert.

Allgemein bekannt sind bereits optische Meßverfahren aus verschiedenen Druckschriften, die die Messung von elektrischen Feldern und elektrischen Spannungen über den Pockels-Effekt an elektrooptischen Kristallen durchführen. Dabei ändern sich die physikalischen Eigenschaften eines elektrooptischen Mediums in Abhängigkeit von der elektrischen Feldstärke derart, daß der Polarisationszustand der durch das Sensormedium sich

ausbreitenden optischen Welle durch eine vom elektrischen Feld induzierte lineare Doppelbrechung beeinflusst wird. Mit Hilfe einer optischen Anordnung, bestehend aus einem Polarisator, einem Verzögerungselement, einem elektrooptischen Material und einem Analysator ist in Verbindung mit elektronischen Auswertemitteln das Meßsignal zwecks Bestimmung der elektrischen Spannung transversal oder parallel zur Ausbreitungsrichtung der optischen Welle ermittelbar. Um eine Trennung der Nutzgröße elektrische Spannung von den Störgrößen - nicht zeitlich konstante Dämpfung entlang des optischen Signalpfades, Temperaturabhängigkeiten von Parametern der eingesetzten optischen Bauteile - zu ermöglichen, wird der optische Signalweg in mehr als einen Teilstrahl geteilt. Die Teilstrahlen werden über verschiedene optische Elemente separaten Empfängern zugeführt und die detektierten Signale werden nach geeigneter Verarbeitung mit analogen elektronischen Mitteln gegebenenfalls einer digitalen Signalverarbeitung unterzogen.

In DE 4436454 wird polarisiertes Meßlicht durch eine Pockel's-Sensoreinrichtung, die unter dem Einfluß des Wechselfeldes oder der Wechselspannung steht, auf einen Strahlteiler geleitet, der die optische Welle in zwei unterschiedliche Polarisationssebenen aufteilt. Das in der Ausführungsform angegebene Verfahren nutzt zur Messung des elektrischen Feldes den transversalen elektrooptischen Effekt (Fig. 1) aus. Das Verfahren eignet sich zur Messung von Spannungen, die transversal über dem Sensorkristall abfallen. Eine Meßbereichsanpassung ist über eine Änderung der Kristalllänge möglich, jedoch ist die maximal zu messende Spannung durch die elektrische Festigkeit des Sensorkristalls beschränkt. Wegen der in der Praxis begrenzten Kristallabmessungen ist die Messung von Hochspannungen über den transversalen elektrooptischen Effekt technologisch sehr aufwendig, die Messung von „kleinen“ Spannungen unterhalb der elektrischen Festigkeit des Kristallmaterials jedoch durch die Sensitivitätserhöhung durch Verlängerung des Kristalls sinnvoll.

Nach der DE-OS 4416298 wird eine Ausführungsformen des Meßverfahrens und der durchführenden Vorrichtung beschrieben, die den longitudinalen elektrooptischen Effekt ausnutzt. Eine zu messende elektrische Spannung ruft ein elektrisches Feld im Kristall hervor, dessen Feldlinien parallel zur Ausbreitungsrichtung des Meßlichtes verlaufen. Aufgrund der maximal technologisch möglichen Kristallabmessungen und der damit verbundenen begrenzten elektrischen Festigkeit steigt der Isolationsaufwand bei Messungen von elektrischen Spannungen im Bereich der maximalen elektrischen Festigkeit der Anordnungen beträchtlich.

In DE-Patentschrift 4100054 wird ein optischer Meßwandler vorgestellt, der über eine Magnetfeldbestimmung ein Maß für den elektrischen Strom liefert und mittels eines eingebauten kapazitiven Teilers den Spannungsabfall an einer Teilkapazität als Maß für die elektrische Spannung heranzieht. Die Bestimmung der elektrischen Spannung erfolgt nur dann exakt, solange das angegebene Teilungsverhältnis, bestimmt durch Ober- und Unterspannungskapazität, konstant bleibt. Da eine räumlich ausgedehnte Unterspannungskapazität eingesetzt wird, kann die Kapazität durch eine Feldverzerrung beeinflußt werden, so daß das Teilungsverhältnis des Meßwandlers verändert wird. In der Praxis kann im allgemeinen nicht von konstanten Feldverteilungen ausgegangen werden.

In DE-EB 3404608 wird eine Vorrichtung zur optischen Messung der elektrischen Feldstärke beschrieben, die über ein Übertragungselement eine optische Welle einer Sensoreinrichtung für ein elektrisches Feld zuführt, die den Modulationsgrad der optischen Welle in Abhängigkeit von der elektrischen Feldstärke ändert. Es wird darauf verwiesen, daß die verwendeten Sensorkristalle der Gruppe 23 und  $\bar{4}3m$  eine geringe Abhängigkeit des optischen Effekts von der Temperatur aufweisen, jedoch findet keine vollständige Kompensation des Temperatureinflusses statt.

In der DE-Patentschrift 3039136 wird eine Einrichtung zum Messen einer Spannung und eines elektrischen Feldes unter Verwendung von Licht angegeben. Die Patentschrift erläutert die Verwendung eines beispielsweise Wismuthgermaniumoxid-Kristalls zur Spannungs- und Feldmessung. Es wird angegeben, daß die Temperaturabhängigkeiten der materialspezifischen Konstante  $V_{\pi}$  mit ca. 0.01% / K angenommen werden kann. Bei einem Temperaturbereich von  $\Delta T=100K$  kann demzufolge der Fehler 1% betragen. Für Anwendungen mit höheren Genauigkeiten ist nicht nur eine Kompensation der Temperaturcharakteristik des Sensorkristalls, sondern auch der der Verzögerungsplatte notwendig.

In der DE-EB 2845625 wird eine Anordnung zur elektrooptischen Spannungsmessung beschrieben, bei der der longitudinale lineare elektrooptische Effekt an einer piezoelektrischen Faser ausgenutzt wird und durch die räumliche Ausdehnung der Kristallfaser die optischen Auswirkungen der Feldstärkeverteilung entlang der Faser integriert werden. Nach dem heutigen Stand der Technik ist eine derartige Kristallfaser zur Zeit kommerziell nicht erhältlich, so daß dieses Verfahren zur Spannungsmessung in der Praxis großserientechnisch sich bisher nicht durchgesetzt hat.

Nach der DE-EB 2131224 ist eine Einrichtung zur Messung von Spannungen an Hochspannungsleitern bekannt, zu der angegeben wird, daß das zur zu messenden Spannung proportionale elektrische Feld die Polarisationssebene von polarisiertem Licht verändert, das in einen Lichtwellenleiter eingekoppelt ist. Es wird eine Anordnung vorgeschlagen, bei der zur Vergrößerung des Effekts der Lichtwellenleiter mäanderförmig geführt ist. Bei dieser Realisierung ist eine große Temperaturabhängigkeit des Meßsignals zu erwarten, die durch die durch Biegung induzierte lineare Doppelbrechung des Lichtwellenleiters verursacht wird.

Die DE-EB 1591976 beschreibt eine elektrisch-optische Spannungs-Reduziervorrichtung und ihre Anwendung zum Messen von Spannungen.

Dabei wird die Polarisierung eines Lichtbündels, das eine Anzahl elektrooptischer Zellen durchquert, die elektrisch in Reihe geschaltet sind, geändert und mittels einer Pockel's Zelle über eine Kompensationsschaltung ausgelesen. Die beschriebene Anordnung stellt im Prinzip einen ohmsch/kapazitiven Teiler dar, dessen Spannungsabfälle über Teilkapazitäten optisch ausgelesen werden. Das Verfahren birgt den Nachteil, daß Temperaturabhängigkeiten der optischen Elemente nicht kompensiert werden und daß die vorgeschlagene Vorrichtung technologisch aufwendig und damit kostenaufwendig hergestellt werden muß, da neben den Kosten für den optischen Aufbau die Kosten für den Spannungsteiler anfallen. Ferner macht die Kompensationsschaltung eine Zuführung einer sekundären elektrischen Spannung notwendig.

In DE 4436181 A1 wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselgröße mit Temperaturkompensation durch Fitting angegeben. Es wird eine Normierungsschaltung vorgeschlagen, die den Quotienten aus Wechsel- zu Gleichsignalanteil des Intensitätssignals der vom Empfänger detektierten optischen Welle bilden. Zur Durchführung dieser Funktion wird ein Dividierer verwendet. Es werden keine Maßnahmen zur Unterdrückung der Auswirkungen von Toleranzen der Bauteile in der Normierungsstufe angegeben.

Aufgabe der Erfindung ist es deshalb, ein Verfahren und eine Einrichtung zum Messen einer elektrischen Wechselspannung mit Hilfe des elektrooptischen Effekts zu schaffen, bei der die Messung unter Freiluftbedingungen auch in der Hoch- und Höchstspannungsebene auf technologisch einfache Art durchgeführt werden kann. Das Verfahren und die Einrichtung sollen Maßnahmen enthalten, die die Auswirkungen von Temperaturänderungen auf optische und elektrische Parameter der Einrichtung reduzieren. Zwecks Kostensenkung und Erhöhung der Produktionsstückzahlen wird ein modular-skalierbarer Aufbau angestrebt.

Diese Aufgabe wird gelöst, indem ein Verfahren und eine Einrichtung zur Messung einer elektrischen Wechselspannung vorgeschlagen wird, das unter Verwendung mindestens einer Lichtquelle und mindestens einer optischen Übertragungsstrecke wenigstens ein Sensorelement und Auswertemittel unter Ausnutzung des Pockel's-Effekts benutzt. Das Sensorelement beinhaltet mindestens ein Sensoraktivteil. Die an dem Sensorelement anliegende Spannung fällt an der Anzahl  $N_{SA}$  ( $N_{SA}$  größer oder gleich 1) von Sensoraktivteilen ab, so daß die an dem (den) Sensoraktivteil(en) abfallende(n) Teilspannung(en)  $U_{SA,1}..U_{SA,NSA}$  gemessen werden und zur weiteren Verarbeitung zur Verfügung stehen. Es wird eine Anzahl  $N_{SE}$  ( $N_{SE}$  größer oder gleich 1) von Sensorelementen eingesetzt, so daß die Summe der an ihnen abfallenden Teilspannungen  $U_{SE,1}..U_{SE,NSE}$  zur Verfügung steht und zur Ermittlung der zu messenden Gesamtspannung verwendet wird. Die Teilspannungen  $U_{SE,1}..U_{SE,NSE}$  setzen jeweils sich wiederum aus einer Summe von Teilspannungen  $U_{SA,1}..U_{SA,NSA}$  zusammen.

Von einer Lichtquelle erzeugtes Meßlicht durchdringt ein aus mindestens zwei Sensorkristallen bestehendes Sensoraktivteil, an dem eine elektrische Spannung abfällt. Der Polarisationszustand des Meßlichts wird nach Durchlaufen der Sensorkristalle einer weiteren Verwendung zugeführt zur Verarbeitung von Informationen, die nach geeigneter Auswertung ein Maß für die elektrische Spannung, die über die Sensorkristalle abfällt, darstellen, wobei die Anzahl  $N_{SK}$  der Sensorkristalle auf der Meßstrecke, bezogen auf die Inhomogenität der elektrischen Feldverteilung, hinreichend groß gewählt wird und die Länge der Meßstrecke in derselben Größenordnung liegt wie die Länge der Strecke, über die die zu messende Spannung abfällt. Das Sensoraktivteil beinhaltet mindestens ein temperaturabhängiges optisches Element, das eine optische Aktivität aufweist. Die Temperaturabhängigkeit der optischen Aktivität wird als Maß für die am temperaturabhängigen optischen Element herrschende Temperatur für die Bewertung der Meßwerte zur Verfügung gestellt wird. Das Sensoraktivteil ist so ausgebildet, daß die darin enthaltenen Sensorkristalle hintereinander in derselben kristallographischen

Orientierung befindlich von einem einzigen Lichtstrahl durchstrahlt werden und die Auswirkungen der elektrooptischen Effekte in den Einzelkristallen addiert werden, sowie die Summenwerte als Basis für die Ermittlung der am Sensoraktivteil anliegenden Spannung bereitstehen und verwandt werden. Das Sensoraktivteil weist einen Träger auf, der zur Halterung und Justierung der eingesetzten Kristalle dient.

Die von den Sensoraktivteilen übermittelten optischen Wellen werden detektiert und jeweils als Signal  $I$  über eine in zweckentsprechenden Auswertemitteln enthaltene Baugruppe in ein Signal  $I_N$  umgewandelt, indem das Signal  $I$  aus einem Wechselanteil  $I_{AC}$  als kennzeichnende Größe besteht, die sich mit der Frequenz der zu messenden Spannung zeitlich ändert, deren Zeitkonstante mit  $T_{AC}$  bezeichnet wird und die Änderung des Gleichanteiles  $I_{DC}$  als weitere kennzeichnende Größe des Signals  $I$  mit der Zeitkonstante  $T_{DC}$  beschrieben wird, wobei die Zeitkonstante  $T_{DC}$  deutlich größer ist als  $T_{AC}$  und die Normierung über eine Multiplikation vom Signal  $I$  mit einem Faktor  $K$  in der Art und Weise geschieht, daß der Gleichanteil von  $I_N$  den vorgegebenen Wert eines Referenzsignals  $V_{ref}$  annimmt und der zur Aufbereitung verwendete Faktor  $K$  in einer geschlossenen Regelschleife ermittelt wird.

Es ist ebenso möglich, anstatt des Gleichanteils den Spitzenwert zu erfassen und weiter zu verwenden.

Eine zweckentsprechende Einrichtung zur Messung der elektrischen Spannung, bei dem die elektrische Spannung eine Wechselgröße ist, verfügt mindestens über eine Lichtquelle, mindestens eine optische Übertragungsstrecke, mindestens ein Sensoraktivteil und über Auswertemittel unter Ausnutzung des Pockel's-Effekts. Das Sensoraktivteil verfügt über mindestens zwei elektrooptische von einem polarisierten Meßlicht durchdrungene Sensorkristalle, denen ein temperaturabhängiges optisches Element nachgeordnet sein kann. Die von einem polarisierten Meßlicht durchdrungenen Kristalle sowie das temperaturabhängige optische Element bestehen vorzugsweise aus den Materialien  $Bi_4Ge_3O_{12}$ ,  $Bi_4Si_3O_{12}$  oder



$\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ ,  $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$  beziehungsweise aus Verbindungen der Kristallgruppe  $\bar{4}3m$  oder 23.

Das Sensoraktivteil besteht aus mehreren aufeinanderfolgenden gerichteten mittels eines einzigen Lichtstrahles durchstrahlbaren in derselben kristallographischen Orientierung befindlichen Sensorkristallen, die zur gegenseitigen Orientierung justierbar in Durchstrahlungsrichtung in oder an einem zweckentprechenden Träger angeordnet sind. Vorzugsweise fluchten diese axial.

Das Sensorelement enthält eine Vorrichtung, die es gestattet, ein Sensoraktivteil oder mehrere so anzuordnen, daß die am Sensorelement anliegende Spannung an dem (den) Sensoraktivteil(en) in Teilspannungen abfällt und die Summe der Teilspannungen gleich der anliegenden Spannung ist. Über Halte- und Feldsteuerelement können Sensorelemente derart kombiniert werden, daß die an ihnen anliegende Spannung in Teilspannungen an den einzelnen Sensorelementen abfällt.

Die Einrichtung beinhaltet als Auswertemittel mindestens eine Baugruppe, über die die Normierung über eine Multiplikation des Eingangssignals mit einem Faktor durchgeführt wird, wobei der Faktor von einer Funktionseinheit generiert wird, dessen Eingangsgröße die Differenz aus einem Referenzsignal und aus dem mit einem Faktor beaufschlagten Eingangssignal darstellt. Als Funktionseinheit kann zweckmäßigerweise ein Integrator, ein Tiefpaß oder ein Spitzenwertgleichrichter benutzt werden.

Die Vorteile der Erfindung bestehen darin, daß die erfindungsgemäße Einrichtung einen modularen Aufbau aufweist, so daß die Einrichtung zur Spannungsmessung in verschiedenen Spannungsebenen anzupassen ist, ohne daß grundlegende konstruktive Änderungen vorzunehmen sind. Durch diese Maßnahme kann durch Erhöhung der Stückzahl eines Sensoraktivteils ein Spannungswandler kostengünstig realisiert werden.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, daß die diskrete Summation der elektrischen Feldstärke zur Näherung der anliegenden elektrischen Spannung durch die Verwendung einer Vielzahl von Sensorkristallen durchgeführt wird. Dadurch kann auf den Einsatz von langen Kristallstäben, an denen die zu messende Spannung angelegt wird, verzichtet werden. Aufgrund der kleineren Kristallvolumina ist dadurch eine Kostensenkung zu erwarten. Durch den Einsatz eines temperaturabhängigen optischen Elements als Temperatursensor ergibt sich die Möglichkeit, temperaturabhängige Effekte kompensieren zu können.

In der Normierungsstufe der Auswerteschaltung wird ein Regelkreis zur Durchführung der Normierung vorgeschlagen, der durch die Verwendung einer Rückkopplung im Gegensatz zu Verfahren ohne Rückkopplung Bauteiletoleranzen ausregelt. Durch diesen Regelkreis können nachfolgende analoge und digitale Schaltungen vorteilhaft angesteuert werden.

Ein weiterer Vorteil der erfindungsgemäßen Lösung besteht darin, daß ein diskreter Spannungsteiler zur Steuerung des Spannungsabfalls beim vorgeschlagenen optischen Wandler nicht notwendig ist. Durch die Integration der elektrischen Feldstärkekomponente auf der Meßstrecke wird die Bestimmung der elektrischen Spannung gemäß ihrer Definition durchgeführt.

Die Erfindung soll nachfolgend in einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

Fig. 1: Prinzip einer Pockelszelle auf Basis des transversalen elektrooptischen Effekts,

Fig. 2: Prinzip einer Pockelszelle auf Basis des longitudinalen elektrooptischen Effekts,

Fig. 3: Prinzip einer erweiterten Pockelszelle zur Spannungsmessung und Temperaturerfassung,

Fig. 4: Verwendung von mehreren Sensorkristallen zur Spannungsmessung,

- Fig. 5: Prinzipieller Aufbau der Einrichtung zur Messung einer Spannung,
- Fig. 6: Prinzipieller modularer Aufbau der Einrichtung zur Anpassung der Spannungsebene,
- Fig. 7: Prinzipieller Aufbau der Auswertemittel,
- Fig. 8: Übliche Normierung eines optischen Signals mittels Dividierers,
- Fig. 9: Normierung des optischen Signals mittels geregelter Multiplizierer.

Die Messung des elektrischen Feldes kann bekannterweise mit einer Pockelszelle durchgeführt werden. In Fig. 1 und 2 ist der prinzipielle Aufbau einer Pockelszelle dargestellt. Von einer Lichtquelle 31 wird eine optische Welle emittiert, die über einen Polarisator 11, ein elektrooptisches Element 12, ein Verzögerungselement 13, einen Analysator 14 auf einen optoelektrischen Wandler 32 geführt wird. Wird als elektrooptisches Element 12 ein Kristall ohne natürliche lineare Doppelbrechung eingesetzt, so sollte der Arbeitspunkt der Anordnung zur Gewährung einer maximalen Sensitivität und Linearität durch den Einsatz einer Verzögerungsplatte 13 mit einer Verzögerung von einer Viertelwellenlänge festgelegt werden. Wird der transversale elektrooptische Effekt ausgenutzt (Fig. 1), so stehen die Lichtausbreitungsrichtung und das modulierende elektrische Feld senkrecht zueinander. Der elektrooptische Kristall 12 wird zur Ausnutzung des longitudinalen elektrooptischen Effekts (Fig. 2, elektrisches Feld und Lichtausbreitungsrichtung verlaufen parallel zueinander) so orientiert, daß sich die eingekoppelte linear polarisierte optische Welle entlang einer Hauptachse im Sensorkristall 12 ausbreitet und die Polarisationssebene der optischen Welle im  $45^\circ$ -Winkel zu den anderen elektrooptisch ausgezeichneten Achsen des Kristalls bei anliegendem Feld  $E$  orientiert ist. Der Analysator 14 wandelt das durch das anliegende elektrische Feld phasenmodulierte optische Signal in ein intensitätsmoduliertes Signal. Über Auswertemittel ist die Bestimmung der Feldstärke  $E$  aus dem intensitätsmodulierten Signal, das vom Empfänger 32 zur Verfügung gestellt wird, möglich.

In Fig. 3 wird das Prinzip der in der Erfindung eingesetzten erweiterten Pockelszelle beschrieben. Im Unterschied zu Fig. 1 und 2 besteht diese aus mehreren Sensorkristallen  $SK_i$  (mit  $i=1,2,..N_{SK}$ ,  $N_{SK}$  größer oder gleich zwei) und zusätzlich aus einem Strahlteiler 19, einem temperaturabhängigen Element 16, einem Analysator 17 und einem Empfänger 33. Die Verbindung von der Lichtquelle 31 zum Sensoraktivteil 21 stellt die optische Übertragungsstrecke OS1 dar, die Verbindungen von 21 zu den elektrooptischen Wandlern 32 und 33 werden durch die optischen Übertragungsstrecken OS2 bzw. OS3 realisiert. Durch das Sensoraktivteil 21 wird die optische Welle an diskreten Stellen der Sensorkristalle  $SK_i$  durch die dort lokal herrschende Feldstärke  $E_i$  moduliert. Nach Durchlaufen des Strahlteilers 19 wird die eine Teilwelle über ein temperaturabhängiges optisches Element 16 einem Analysator 17 und einem Empfänger 33 zugeführt. Die andere Teilwelle trifft nach dem Strahlteiler direkt auf einen Analysator 14 und einen Empfänger 32. Arbeitet die Pockelszelle nach dem longitudinalen elektrooptischen Effekt, addieren sich die Einzelmodulationen an den Sensorkristallen, wenn sich diese in derselben kristallographischen Orientierung befinden. Die Summe der Einzelmodulationen resultiert in einer Gesamtphasenverzögerung  $\Gamma$  zweier orthogonaler Teilwellen.

Die zu bestimmende Spannung fällt auf der Meßstrecke des Sensoraktivteils zwischen den Stellen A und B ab. Der zugehörige angenommene Feldstärkeverlauf (durchgezogene Linie) in Abhängigkeit von der Meßstelle ist in Fig. 4 dargestellt. Gemäß der Definition zur Bestimmung der Spannung zwischen den Stellen A und B wird das Integral der Feldstärke-Wegprodukte herangezogen.

$$U_{A,B} = \int_A^B \vec{E} d\vec{l} \quad (1)$$

Wird der Feldstärkeverlauf durch eine Treppenfunktion mit der Anzahl  $N_{SK}$  Stufen angenähert, so geht  $U_{A,B}$  über in

$$U_{A,B} = \sum_{i=1}^{NSK} E_i \cdot d_i \quad (2),$$

wobei  $E_i$  die konstante Feldstärke am Sensorkristall  $SK_i$  auf der Stufe  $i$  mit der Breite  $d_i$  darstellt. Der Übergang von Gleichung (1) nach (2) ist unter der Bedingung möglich, daß ausschließlich die Feldstärkekomponente  $E$  in Wegrichtung  $dl$  einen Einfluß auf den Wert des Integrals hat. Sind die Breiten der Stufen  $d_i$  identisch einer Konstante  $d$  und die Längen  $l_i$  der Sensorkristalle ebenfalls gleich einer Konstante  $l$ , so erhält man aus (2) durch Erweiterung die Gleichung (3) mit

$$U_{A,B} = \frac{d}{l} \sum_{i=1}^{NSK} E_i \cdot l_i \quad (3).$$

Wird der longitudinale elektrooptische Effekt genutzt, so ist die Phasenverzögerung zweier orthogonaler optischer Teilwellen proportional zu  $E_i$  und  $l_i$  (siehe A. Yariv, P. Yeh, „Optical Waves in Crystals“)

$$\Gamma_i \propto E_i \cdot l_i \quad (4.1),$$

so daß in Verbindung mit Gleichung (3)  $U_{A,B}$  proportional zur Summe der Teilphasenverzögerungen ist

$$U_{A,B} \propto \sum_i \Gamma_i \quad (4.2),$$

Wenn sich die Teilphasenverzögerungen, die durch die einzelnen Sensorkristalle hervorgerufen werden, sich addieren gemäß

$$\Gamma = \sum_i \Gamma_i \quad (5),$$

so ist die Gesamtphasenverzögerung  $\Gamma$  gemäß den Gleichungen (4.2) und (5) proportional der zu messenden Spannung  $U_{A,B}$ .

Bei hinreichend großer Anzahl von Sensorkristallen kann somit die Bestimmung der elektrischen Spannung über die Berechnung des Wegintegrals der elektrischen Feldstärke auf eine Summation von diskreten Feldstärke-Weg-Produkten zurückgeführt werden. Die Summation nähert das Integral um so genauer an, je mehr Sensorkristalle verwendet werden. Allerdings steigen dann auch die Kosten für die Kristalle und die durch Oberflächenreflexionen verursachten Verluste. In der Praxis ist eine Optimierung bzgl. Kosten und Meßgenauigkeit vorzunehmen.

Die zweite durch den Strahlteiler ausgekoppelte optische Welle durchläuft ein temperaturabhängiges optisches Element, das eine optische Aktivität aufweist. Mit dieser Anordnung kann ein Korrekturfaktor gewonnen werden, der die temperaturabhängigen Fehler der linearen Doppelbrechung in den Sensorkristallen und in der Verzögerungsplatte kompensiert.

Fig. 5 zeigt den schematischen Aufbau der Einrichtung zur Messung einer Spannung, bestehend aus Lichtquellen und Auswertemitteln 30 und aus einem Sensorelement 20, das aus einer Anzahl  $N_{SA}$  von Sensoraktivteilen 21-X und Halte- und Feldsteuerungselementen 22 besteht. Die optischen Übertragungsstrecken zwischen dem Sensorelement 20 und Auswerteeinrichtung 30 werden mit OS zusammenfassend bezeichnet. Dem optischen Sensorelement werden optische Wellen über die Übertragungsstrecke OS zugeführt. Mindestens zwei optische Wellen werden vom Sensorelement 20 zu den Auswertemitteln 30 über die Übertragungsstrecke OS zurückgeleitet. Die Auswertemittel generieren ein Maß  $U'$  für die Summe der Spannungen  $U_{SA,1} \dots U_{SA,NSA}$ , die an den Sensoraktivteilen 21-1..21- $N_{SA}$  anliegen. Die Spannung  $U'$  ist proportional der Gesamtspannung  $U$ .

In Fig. 6 ist ein Beispiel für den modularen Aufbau zur Anpassung der Spannungsebene für den Fall dargestellt, daß die Sensorelemente 20-X ( $X=1,2,...N_{SE}$ ) jeweils genau ein Sensoraktivteil 21 beinhalten, so daß in diesem Fall  $N_{SE}$  gleich  $N_{SA}$  ist. Die Sensorelemente 20-X werden so angeordnet, daß die in den Auswertemitteln 30-X ermittelten Teilspannungen  $U_1', U_2', ..., U_{N_{SE}}'$  der Sensorelemente durch Summenbildung in der Einheit 35 ein zur Gesamtsystemspannung  $U$  proportionales Maß  $U'$  ergeben. Die Einheit 35 kann ein Teil der Auswertemittel 30 sein oder eine aus 30 ausgegliederte Einheit.

Als Sensorkristall soll in diesem Ausführungsbeispiel  $Bi_4Ge_3O_{12}$  betrachtet werden, das zur Klasse  $\bar{4}3m$  des kubischen Kristallsystems gehört. Das Kristall weist keine natürliche lineare Doppelbrechung auf und besitzt keine optische Aktivität. Durch die fehlende optische Aktivität kann eine Vielzahl von Sensorkristallen derselben Art auf konstruktiv einfache Art und Weise hintereinander angeordnet werden, so daß die Auswirkungen des longitudinalen Pockelseffekts in Form von induzierter linearer Doppelbrechung bei den Einzelkristallen  $\Gamma_i$  sich zu einer Gesamtphasenverzögerung  $\Gamma$  der sich ausbreitenden orthogonalen Teilwellen summieren. Wird in Fig. 3 der Polarisator 11 im Winkel von  $45^\circ$  zu den elektrooptisch ausgezeichneten Achsen der Sensorkristalle, die alle dieselbe Orientierung aufweisen, orientiert und der Analysator 14 zum Eingangspolarisator gekreuzt angeordnet, so läßt sich am Empfänger 32 die Intensität  $I_1$  detektieren gemäß

$$I_1 = I_{1,DC} (1 + \sin(\Gamma)), \quad (6)$$

wobei  $\Gamma$  die Phasenverzögerung aufgrund des Pockelseffekts zwischen den optischen Teilwellen darstellt, die entlang der 1. bzw. 2. elektrooptisch ausgezeichneten Achsen polarisiert sind und die Lichtausbreitung in Richtung der 3. elektrooptisch ausgezeichneten Achse stattfindet.  $I_{1,DC}$  ist der Gleichanteil der am Empfänger detektierten Intensität  $I_1$ .  $\Gamma$  läßt sich aus der

Summe der Teilphasenverzögerungen  $\Gamma_i$  an den einzelnen Sensorkristallen berechnen, wobei  $N_{SK}$  die Anzahl der verwendeten Sensorkristalle darstellt.

$$\Gamma = \sum_{i=1}^{NSK} \Gamma_i \quad (7)$$

Die Teilphasenverzögerungen  $\Gamma_i$  der einzelnen Sensorkristalle ergeben sich gemäß des longitudinalen elektrooptischen Effekts zu

$$\Gamma_i = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot n_0^3 \cdot r_{41} \cdot E_{z,i} \cdot l_i, \quad (8)$$

mit  $n_0$ : Brechungsindex,  
 $\lambda_0$ : Wellenlänge der optischen Welle,  
 $r_{41}$ : elektrooptische Konstante,  
 $E_{z,i}$ : elektrische Feldkomponente in Ausbreitungsrichtung der optischen Welle im Kristall  $i$ ,  
 $l_i$ : Länge des Lichtweges im elektrooptischen Kristall.

Der 2. Teilstrahl in Fig. 3 wird über ein temperaturabhängiges optisches Element 16 und über einen Analysator 17 auf einen Empfänger 33 geführt. Wird beispielsweise  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  als temperaturabhängiges optisches Element 16 eingesetzt, so läßt sich ein Maß für die Temperatur ermitteln, indem die Temperaturabhängigkeit der natürlichen optischen Aktivität ausgenutzt wird. Dabei wird die Polarisationssebene einer durchlaufenden optischen Welle bei einer Temperaturänderung um  $\Delta T$  um  $\Delta \theta$  gedreht. Am Empfänger 33 kann die normierte optische Intensität  $I_2$  detektiert werden mit dem Gleichanteil  $I_{2,DC}$  gemäß

$$I_2 = I_{2,DC} (1 + \sin(\Gamma) \cdot \sin(2 \cdot \theta)), \quad (9)$$



wobei der Winkel  $\theta$  sich zusammensetzt aus Drehung der Polarisationssebene durch die optische Aktivität bei Bezugstemperatur  $\theta_0$  und dem Anteil  $\Delta\theta$ , der durch Temperaturänderungen verursacht wird.

$$\theta = \theta_0 + \Delta\theta, \quad (10)$$

Der Analysator ist um einen Winkel von  $45^\circ + \Delta\theta_{\max}$  zum Winkel  $\theta_0$  orientiert. Durch die zusätzliche Drehung um  $\Delta\theta_{\max}$  führt die Änderung um  $\Delta\theta$  innerhalb des Intervalls  $[-\Delta\theta_{\max}, +\Delta\theta_{\max}]$  stets zu einer Modulation des Ausgangssignals  $I_2$  ohne Vorzeichenänderung.

Zwecks Kompensation von Dämpfungseinflüssen auf der optischen Übertragungsstrecke zwischen Lichtquelle und Empfänger ist es vorteilhaft, wenn die Signale  $I_1$  und  $I_2$  in den Gleich- und Wechselanteil zerlegt werden und eine Normierung gemäß der folgenden Vorschrift durchgeführt wird:

$$I_{1N} = \frac{I_{1,AC}}{I_{1,DC}} = \sin(\Gamma) \quad (11)$$

$$I_{2N} = \frac{I_{2,AC}}{I_{2,DC}} = \sin(\Gamma) \cdot \sin(2 \cdot (\Delta\theta + \Delta\theta_{\max})) \quad (12)$$

In den oben angeführten Beziehungen ist  $\Gamma$  ein Wechsignal im Frequenzbereich 20Hz bis 20kHz, hingegen ändert sich  $\Delta\theta$  nur „langsam“ im Bereich der thermischen Zeitkonstante der Meßvorrichtung im Frequenzbereich kleiner 20Hz.

Werden die Signale  $I_{1N}$  und  $I_{2N}$  über eine Zeitspanne  $\tau$  betragsmäßig integriert ( $\tau$  sollte deutlich kleiner sein als die thermische Zeitkonstante und deutlich größer sich als die Periodendauer der unteren Grenzfrequenz des Wechsignals  $\Gamma$ ) und miteinander dividiert, so erhält man die Größe T21 zu

$$T21 = \frac{\int_{t=t_0}^{t_0+\tau} |I_{2N}| dt}{\int_{t=t_0}^{t_0+\tau} |I_{1N}| dt} = \sin(\Delta\theta + \Delta\theta_{\max}), \quad (13)$$

Für Änderungen von  $\Delta\theta + \Delta\theta_{\max} \ll 1$  kann die Sinusfunktion durch ihr Argument linear genähert werden. Aus (13) erhält man dann

$$\Delta\theta = T21 - \Delta\theta_{\max} \quad (14)$$

Eine Bestimmung der Temperatur ist über  $\Delta\theta$  möglich, da  $\Delta\theta$  in Abhängigkeit von der Temperatur sich näherungsweise linear ändert und eine Umkehrfunktion mathematisch eindeutig in dem betrachteten Intervall bestimmt werden kann. Mit diesem ermittelten Maß für die Temperaturänderung bzgl. der Bezugstemperatur ist eine Korrektur der Temperaturcharakteristik des Signals möglich. Wird der Arcussinus von  $I_{1N}$  gebildet, so erhält man ein Ausgangssignal  $A$ , das mit dem Faktor  $K_T$  zur Temperaturkompensation korrigiert werden kann. Der Faktor  $K_T$  muß durch eine Kalibrierung bekannt sein.

$$A = K_T \cdot a \sin(I_{1N}) \quad (15)$$

Das Signal  $A$  ist somit proportional zur Gesamtphasenverzögerung  $\Gamma$  des Sensorelements und zur Summe der an den Meßstellen herrschenden elektrischen Feldstärken.

Eine Voraussetzung für das angegebene Verfahren ist, daß beim Übergang von der Definitionsgleichung der elektrischen Spannung (1) zur Gleichung (2) ausschließlich die elektrische Feldstärkekomponente in Wegerichtung einen Einfluß auf den Wert des Integrals aus (1) hat. Wird die Richtung der Lichtausbreitung im Sensorkristall parallel zur Richtung des Integrationsweges gewählt und breitet sich das Meßlicht entlang einer optischen Hauptachse im

Sensorkristall aus, so hat bei Verwendung eines kubischen Kristalls nur die elektrische Feldkomponente einen Einfluß auf die Summe in Gleichung (2), die parallel zur Ausbreitungsrichtung des Meßlichtes gerichtet ist. Um dies zu zeigen, wird die Indikatrix als beschreibendes Modell der Brechungsindizes in Abhängigkeit von der Lichtausbreitungsrichtung herangezogen. Es ergibt sich die mathematische Formulierung der Indikatrix (siehe A. Yariv, P. Yeh, „Optical Waves in Crystals“) zu

$$\frac{1}{n_0^2}(x^2 + y^2 + z^2) + 2r_{41} \cdot (E_x \cdot y \cdot z + E_y \cdot z \cdot x + E_z \cdot x \cdot y) = 1 \quad (16)$$

wobei die Richtungen x mit der Kristallrichtung <100>, y mit <010> und z mit <001> übereinstimmen. Wird nun die Lichtausbreitung in z-Richtung betrachtet, so wird ein Schnitt der Indikatrix in der x-y-Ebene im Koordinatenursprung durchgeführt, was mathematisch mit der Bedingung z=0 zu beschreiben ist.

Die Indikatrix ändert sich in diesem Fall zu

$$\frac{1}{n_0^2}(x^2 + y^2) + 2r_{41} \cdot E_z \cdot x \cdot y = 1. \quad (17)$$

Nach Durchführung einer Koordinatentransformation von (x,y) nach (x', y') mit

$$x = (x' - y') \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (18)$$

$$y = (x' + y') \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (19)$$

läßt sich die Indikatrix aus (17) beschreiben durch

$$\frac{x'^2}{n_x^2} + \frac{y'^2}{n_y^2} = 1 \quad (20)$$

mit den Brechungsindizes  $n_x$  und  $n_y$  entlang der  $x'$ - und  $y'$ -Richtung (unter Vernachlässigung von Termen mit höheren Potenzen von  $r_{41}$ ) gemäß

$$n_x = n_0 - \frac{1}{2} n^3 r_{41} E_z \quad (21)$$

$$n_y = n_0 + \frac{1}{2} n^3 r_{41} E_z \quad (22).$$

In (21) und (22) zeigt sich, daß bei Lichtausbreitung in  $z$ -Richtung entlang einer Hauptachse im Kristall die Indikatrix ausschließlich durch die elektrische Feldkomponente in Ausbreitungsrichtung beeinflusst wird. Andere Feldkomponenten beeinflussen die Indikatrix und damit die Phasenverzögerung, die proportional zur Differenz von  $n_x$  und  $n_y$  ist, als Maß für die lokalen Feldstärken in diesem Fall nicht.

Das Signal  $A$  aus (15) ist also proportional zur Spannung  $U_{A,B}$ , die über die Sensorkristalle abfällt, die sich auf der Meßstrecke des Sensoraktivteils 21 befinden.

Wird zur Anpassung der Spannungsebene der Gesamtspannungsabfall über mehrere Sensorelemente aufgeteilt (Fig. 6), so führt die Summation der Teilspannungen der Sensorelemente wieder zur Gesamtspannung.

Beinhaltet das Sensorelement nur einen einzigen Sensorkristall, so wird in diesem Fall keine Spannung gemessen, sondern nur eine Feldstärkekomponente, die über dem Sensorkristall abfällt. Der Spannungssensor läßt sich als Sensor für eine elektrische Feldstärkekomponente einsetzen.

In Fig. 7 sind die Auswertemittel 30 dargestellt. Sie enthalten eine Lichtquelle 31 und mindestens zwei elektrooptische Wandler 32 und 33. Die Signale werden durch Baugruppen 40 vorverarbeitet, digitalisiert durch einen mehrkanaligen AD-Wandler 51, in einem Rechner 53 bearbeitet und als Ausgangsgröße A über einen DA-Wandler 52 zur Verfügung gestellt. In den Baugruppen 40 wird das von den Empfängern 32 und 33 detektierte Signal normiert, so daß der nachgeschaltete AD-Wandler ausreichend angesteuert ist. Zu diesem Zweck wird üblicherweise ein analoger Dividierer sowie ein analoger Hoch- und Tiefpaß oder ein Subtrahierer als Ersatz eines Hoch- oder Tiefpasses eingesetzt, die direkt die mathematische Funktion realisieren, wie es beispielsweise in Fig. 8 dargestellt ist. Die Normierung wird üblicherweise bei optischen Sensoren eingesetzt, die auf einer optischen Übertragungsstrecke ein intensitätsmoduliertes Signal übertragen, das einer zeitlichen Veränderung der optischen Dämpfung unterliegt. Ferner kann ebenfalls der Einfluß der Steilheit des Empfängers eliminiert werden. Die üblicherweise verwendete Schaltung besitzt den Nachteil, daß der Dividierer bei Zunahme der Dämpfung auf der optischen Übertragungsstrecke zwischen Lichtquelle und Empfänger nicht mehr ausreichend angesteuert ist oder andererseits bei Abnahme der Dämpfung auf der optischen Übertragungsstrecke übersteuert werden kann. Somit können durch die Elektronik Fehler entstehen. Eine Lösung dieser Problematik bietet sich durch den Einsatz eines Multiplizierers an, der in einer Rückkopplungsschleife integriert ist, so daß Toleranzen der Bauteile durch die Regelschleife ausgeglichen werden können. Eine Ausregelung der Toleranzen ist notwendig, da in der Praxis keine kommerziell erhältlichen Bauteile zur Verfügung stehen, die eine ausreichende Genauigkeit aufweisen.

Ein prinzipieller Aufbau der Schaltung ist in Fig. 9 gezeigt. Das zu normierende Eingangssignal I wird als erster Faktor einem Multiplizierer MUL zugeführt, der zweite Faktor für den Multiplizierer wird durch die Funktionseinheit INT aus dem Ausgangssignal des Multiplizierers MUL und aus einer Referenzgröße  $V_{ref}$  gewonnen. Die Funktionseinheit kann in einem Ausführungsbeispiel einen

Integrator darstellen. In diesem Fall generiert der Integrator eine Stellgröße als zweiten Faktor für den Multiplizierer, die den DC-Anteil der Ausgangsgröße auf den Wert ausregelt, der durch  $V_{ref}$  vorgegeben ist. Der AC-Anteil des Signals  $I$  wird mit demselben Faktor, den die Regelung für den DC-Anteil ermittelt, skaliert. In einer anderen Ausführungsform kann die Funktionseinheit INT einen Spitzenwertgleichrichter darstellen. In diesem Fall würde das Eingangssignal mit einem Faktor skaliert, so daß der Spitzenwert von  $I_N$  dem Pegel  $V_{ref}$  entspricht. Der Multiplizierer kann auch durch ein anderes spannungsgesteuertes Koeffizientenglied realisiert werden.

## Schutzansprüche:

1. Verfahren zur Messung einer elektrischen Spannung, wobei die elektrische Spannung eine Wechselgröße ist, bei der unter Verwendung mindestens einer Lichtquelle (31) und mindestens einer optischen Übertragungsstrecke (OS) wenigstens ein Sensorelement (20) und Auswertemittel (30) unter Ausnutzung des Pockel's-Effekts benutzt werden, bei dem ein von der Lichtquelle (31) erzeugtes Meßlicht ein aus mindestens 2 Sensorkristallen bestehendes Sensoraktivteil (21), an dem eine elektrische Spannung anliegt, durchdringt, und der Polarisationszustand des Meßlichts nach Durchlaufen der Sensorkristalle einer weiteren Verwendung zugeführt wird zur Verarbeitung von Informationen, die nach geeigneter Auswertung ein Maß für die elektrische Spannung, die über den Sensorkristallen abfällt, darstellen, wobei die Anzahl der Sensorkristalle auf der Meßstrecke bezogen auf die Inhomogenität der elektrischen Feldverteilung hinreichend groß gewählt wird und die Länge der Meßstrecke in derselben Größenordnung liegt wie die Länge der Strecke, über die die zu messende Spannung abfällt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem ein Sensoraktivteil (21) ein temperaturabhängiges Material beinhaltend verwendet wird, das eine Temperaturabhängigkeit der optischen Aktivität aufweist, und durch die optische Aktivität ein Maß für die am temperaturabhängigen optischen Element (16) herrschende Temperatur für die Bewertung der Meßwerte zur Verfügung gestellt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, bei dem die im Sensoraktivteil (21) befindlichen Sensorkristalle hintereinander in derselben kristallographischen Orientierung befindlich von einem

einzigsten Lichtstrahl durchstrahlt werden und die Auswirkungen der elektrooptischen Effekte auf den Lichtstrahl in den einzelnen Sensorkristallen addiert werden sowie die Summe der Auswirkungen der elektrooptischen Effekte in den Sensorkristallen als Basis für die Ermittlung der anliegenden Spannung bereitstehen und verwandt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die über ein Sensorelement (20) abfallende Teilspannung ( $U_1$ ) gemessen und die über mindestens ein weiteres Sensorelement (20) abfallende Teilspannung ( $U_2$ ) gemessen wird und die Summe der gemessenen Teilspannungen zur Ermittlung der an den Sensorelementen anliegenden Gesamtspannung zur Verfügung steht und verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem die über eine Vielzahl N von Sensorelementen ( $20-1, \dots, 20-N$ ) abfallenden Teilspannungen  $U_1$  bis  $U_{NSE}$  gemessen werden und die Summe der Teilspannungen aus  $U_1$  und  $U_N$  zur Ermittlung der zu messenden Gesamtspannung U zur Verfügung steht und verwendet wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem die an einer Anzahl  $N_{SA}$  ( $N_{SA}$  größer oder gleich 1) von Sensoraktivteilen (21), die in einem Sensorelement (20) enthalten sind, anliegenden Spannungen  $U_{SA,1} \dots U_{SA,NSA}$  gemessen werden und die Summe der Spannungen aus  $U_{SA,1} \dots U_{SA,NSA}$  zur Ermittlung der am Sensorelement (20) anliegenden Spannung U zur Verfügung steht und verwendet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem die von dem (den) Sensorelement(en) (20) übermittelten optischen Wellen detektiert und jeweils als Signal I über eine in den Auswertemitteln (30) enthaltene Baugruppe (40) in ein Signal  $I_N$  umgewandelt werden, indem dieses Signal I aus einem Wechselanteil  $I_{AC}$  als kennzeichnende Größe



besteht, die sich mit der Frequenz der zu messenden Spannung zeitlich ändert, deren Zeitkonstante mit  $T_{AC}$  bezeichnet wird, und die Änderung des Gleichanteiles  $I_{DC}$  als weitere kennzeichnende Größe des Signals  $I$ , die mit der Zeitkonstante  $T_{DC}$  beschrieben wird, wobei die Zeitkonstante  $T_{DC}$  deutlich größer ist als  $T_{AC}$  und die Normierung über eine Multiplikation vom Signal  $I$  mit einem Faktor  $K$  in der Art und Weise geschieht, daß der Gleichanteil von  $I_N$  den vorgegebenen Wert eines Referenzsignals  $V_{ref}$  annimmt und der zur Aufbereitung verwendete Faktor  $K$  in einer geschlossenen Regelschleife ermittelt wird.

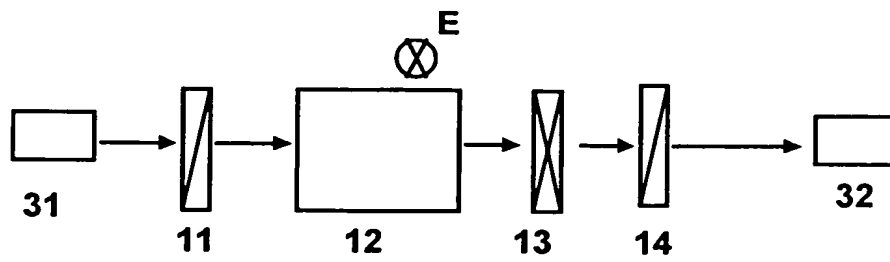
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem die von dem (den) Sensorelemente(n) (20) übermittelten optischen Wellen detektiert und als Signal  $I$  über eine in den Auswertemitteln (30) enthaltene Baugruppe (40) in ein Signal  $I_N$  umgewandelt werden, indem dieses Signal  $I$  aus einem Wechselanteil  $I_{AC}$  als kennzeichnende Größe besteht, die sich mit der Frequenz der zu messenden Spannung zeitlich ändert, deren Zeitkonstante mit  $T_{AC}$  bezeichnet wird und die Änderung des Spitzenwertes des Signals  $I_s$  als weitere kennzeichnende Größe des Signals  $I$  mit der Zeitkonstante  $T_s$  beschrieben wird, wobei die Zeitkonstante  $T_s$  deutlich größer ist als  $T_{AC}$  und die Normierung über eine Multiplikation vom Signal  $I$  mit einem Faktor  $K$  in der Art und Weise geschieht, daß der Spitzenwert von  $I_N$  den vorgegebenen Wert eines Referenzsignals  $V_{ref}$  annimmt und der zur Aufbereitung verwendete Faktor  $K$  in einer geschlossenen Regelschleife ermittelt wird.
  
9. Einrichtung zur Messung der elektrischen Spannung, bei dem die elektrische Spannung eine Wechselgröße ist und mindestens eine Lichtquelle (31), mindestens eine optische Übertragungsstrecke (OS), mindestens ein Sensorelement (20) und Auswertemittel (30) unter Ausnutzung des Pockel's-Effekts vorhanden sind, bei dem das (die) Sensorelement(e) (20) jeweils mindestens ein Sensoraktivteil (21) beinhaltet(en), das jeweils mindestens  $N_{SK}$  ( $N_{SK}$  größer oder gleich zwei)

elektrooptische von einem polarisierten Meßlicht durchdrungene Sensorkristalle ( $SK_1 \dots SK_N$ ) aufweist.

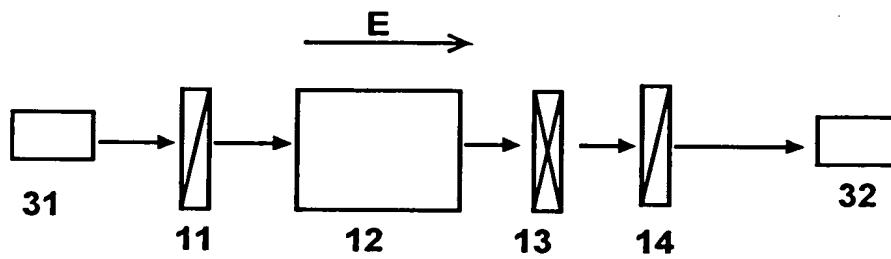
10. Einrichtung nach Anspruch 9, bei dem den elektrooptischen von einem polarisierten Meßlicht durchdrungenen Sensorkristallen ( $SK_1 \dots SK_N$ ) ein weiteres optisches Element (16) nachgeordnet ist.
11. Einrichtung nach Anspruch 10, bei dem die elektrooptischen von einem polarisierten Meßlicht durchdrungenen Sensorkristalle ( $SK_1 \dots SK_N$ ) aus dem Material  $Bi_4Ge_3O_{12}$  bestehen.
12. Einrichtung nach Anspruch 10, bei dem die elektrooptischen von einem polarisierten Meßlicht durchdrungenen Sensorkristalle ( $SK_1 \dots SK_N$ ) aus dem Material  $Bi_4Si_3O_{12}$  bestehen.
13. Einrichtung nach Anspruch 10, bei dem die elektrooptischen von einem polarisierten Meßlicht durchdrungenen Sensorkristalle ( $SK_1 \dots SK_N$ ) aus einer Verbindung der Kristallgruppe  $\bar{4}3m$  bestehen.
14. Einrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, bei dem das optische Element (16) aus dem Material  $Bi_{12}GeO_{20}$  besteht.
15. Einrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, bei dem das optische Element (16) aus dem Material  $Bi_{12}SiO_{20}$  besteht.
16. Einrichtung nach einem der Ansprüche 10 bis 13, bei dem das optische Element (16) aus einer Verbindung der Kristallgruppe 23 besteht.
17. Einrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 16, bei dem das Sensoraktivteil (21) aus mehreren aufeinanderfolgenden gerichteten mittels eines einzigen Lichtstrahls durchstrahlbaren in derselben kristallographischen Orientierung befindlichen Sensorkristallen besteht.

18. Einrichtung nach Anspruch 17, bei dem die Sensorkristalle von einer räumlichen Struktur umfaßt sind, die die Orientierung mehrerer Sensorkristalle in Durchstrahlrichtung ermöglichend ausgebildet ist.
19. Einrichtung nach Anspruch 18, bei dem die räumliche Struktur die Sensorkristalle außerhalb tragend ausgebildet ist und die Sensorkristalle in Durchstrahlrichtung orientiert sind.
20. Einrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 19, bei der bei Verwendung von  $N_{SE}$  Sensorelementen (20) ( $N_{SE}$  größer oder gleich eins) diese so angeordnet sind, daß an ihnen die Teilspannungen  $U_{SE,1}$  bis  $U_{SE,NSE}$  abfallen und die Summe der Teilspannungen die zu messende Gesamtspannung  $U$  ergibt.
21. Einrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 19, bei der die Auswertemittel (30) mindestens eine Baugruppe (40) beinhalten, über die die Normierung über eine Multiplikation des Eingangssignals mit einem Faktor durchgeführt wird, wobei der Faktor von einer Funktionseinheit generiert wird, dessen Eingangsgröße die Differenz aus einem Referenzsignal und aus dem mit dem Faktor beaufschlagten Eingangssignal darstellt.
22. Einrichtung nach Anspruch 20, bei der die Funktionseinheit ein Integrator ist.
23. Einrichtung nach Anspruch 20, bei der die Funktionseinheit ein Tiefpaß ist.
24. Einrichtung nach Anspruch 20, bei der die Funktionseinheit ein Spitzenwertgleichrichter ist.

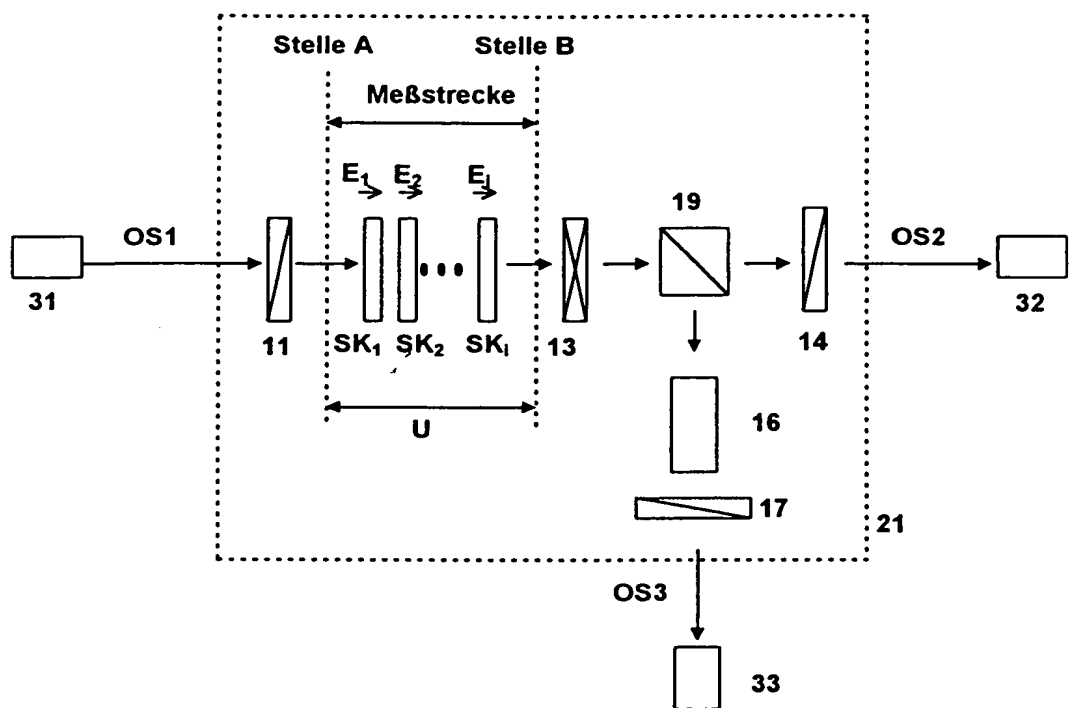
25. Einrichtung nach Anspruch 9, bei der mehr als zwei Sensoraktivteile (21) verwendet werden und die Anzahl der Sensorkristalle  $N_{sk}$  in den Sensoraktivteilen verschieden sein kann.



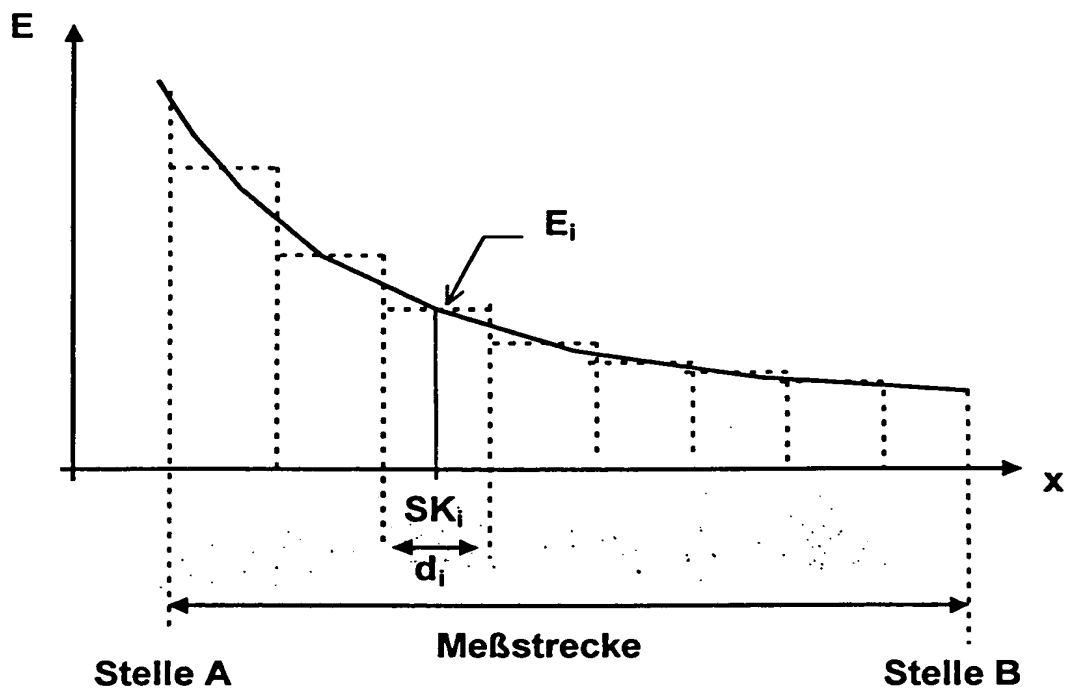
**Fig. 1**



**Fig. 2**



**Fig. 3**



**Fig. 4**

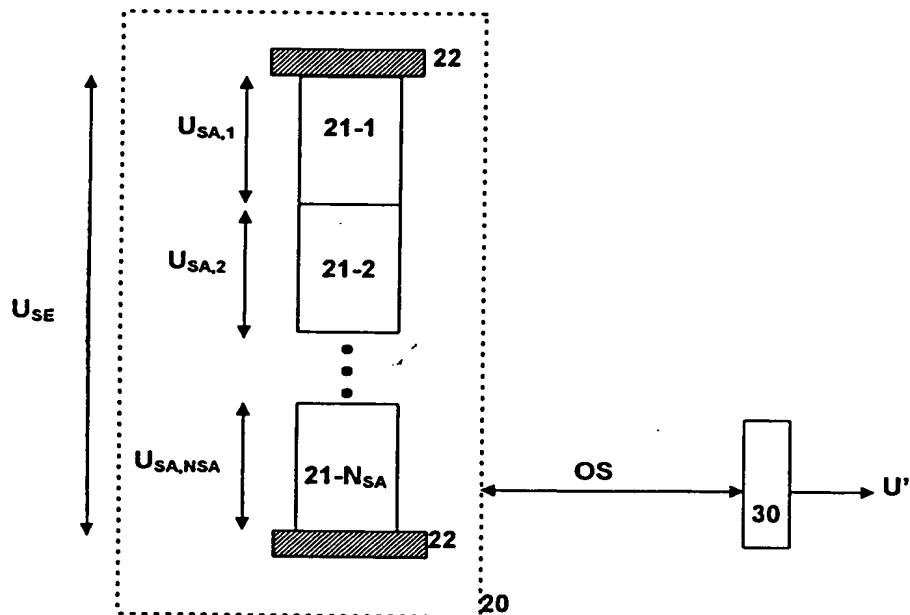


Fig. 5

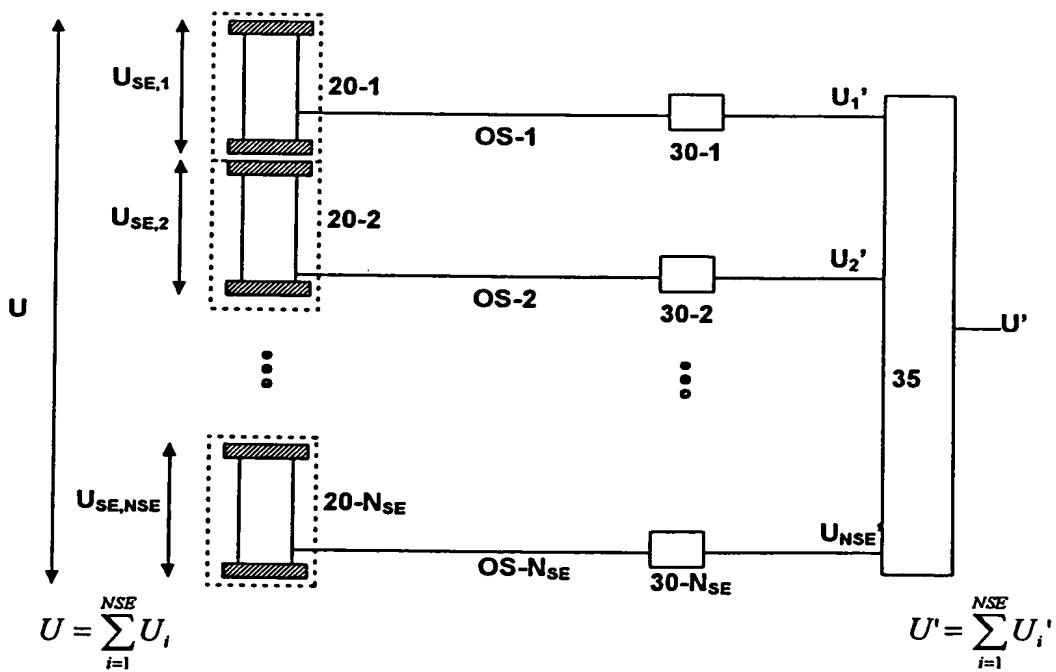
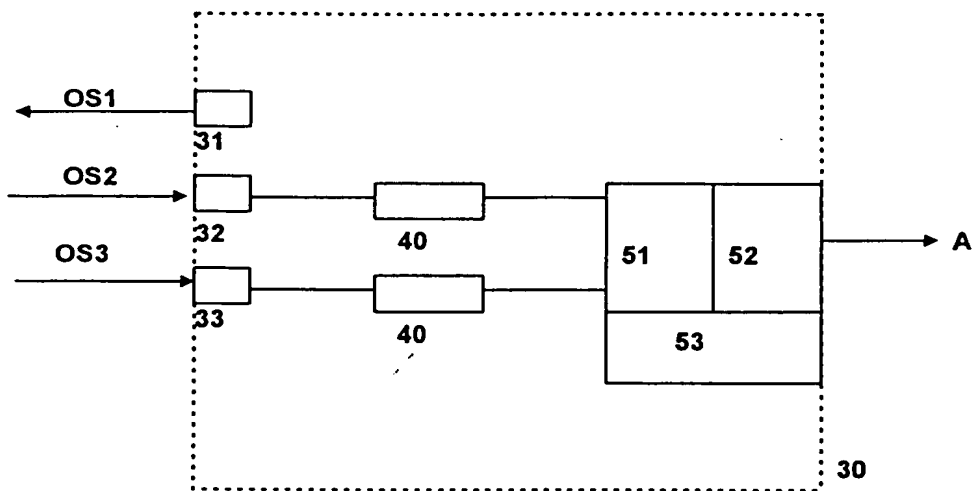
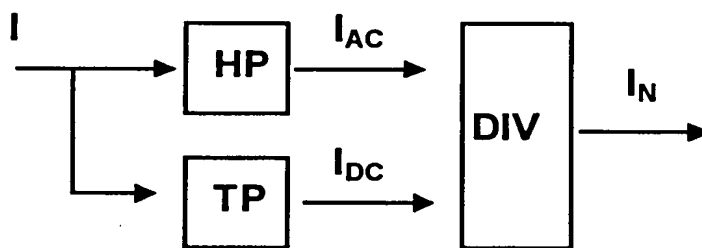


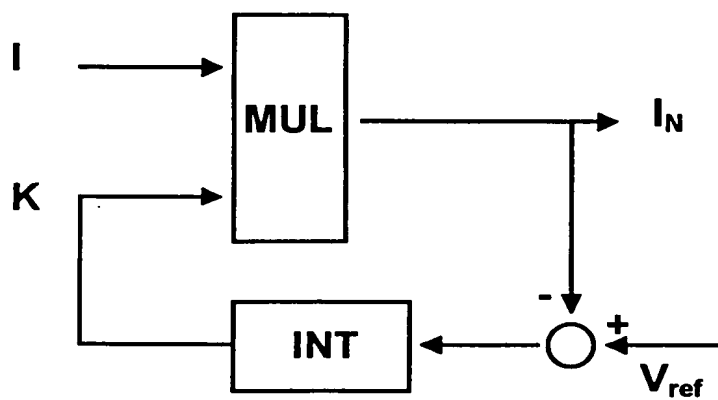
Fig. 6



**Fig. 7**



**Fig. 8**



**Fig. 9**



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**This Page Blank (uspto)**